

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant(s):       Bernhard GEIGER; Sigrid JOITE-BARFUSS; Claudius MOLZ; and  
                          Gudrun ROTH-GANTER

Application No.:     **NEW APPLICATION**

Filing Date:         March 19, 2004

Title:                METHOD FOR THE COMPENSATION OF IMAGE  
                          DISTURBANCES IN THE COURSE OF RADIATION  
                          IMAGE RECORDINGS AND RADIATION IMAGE  
                          RECORDING APPARATUS

**PRIORITY LETTER**

**MAIL STOP PATENT APPLICATION**

March 19, 2004

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sirs:

Pursuant to the provisions of 35 U.S.C. 119, enclosed is/are a certified copy of the following priority document(s).

**Application No.**

10312450.0

**Date Filed**

March 20, 2003

**Country**

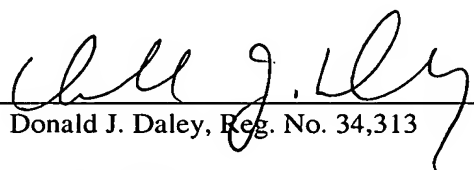
GERMANY

In support of Applicants' priority claim, please enter this document into the file.

Respectfully submitted,

HARNESS, DICKEY, & PIERCE, P.L.C.

By

  
Donald J. Daley, Reg. No. 34,313

DJD/bof

P.O. Box 8910  
Reston, Virginia 20195  
(703) 668-8000

Enclosure



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 12 450.0

**Anmeldetag:** 20. März 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Kompensation von Bildstörungen  
bei Strahlungsbildaufnahmen sowie Strahlungs-  
bildaufnahmevorrichtung

**IPC:** H 05 G, G 01 N, A 61 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. Dezember 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag



Ebert

## Beschreibung

Verfahren zur Kompensation von Bildstörungen bei Strahlungsbilddaufnahmen sowie Strahlungsbilddaufnahmeverrichtung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Bildstörungen bei einer Strahlungsbilddaufnahme hervorgerufen durch eine Defokussierung eines im Strahlengang zwischen einer Strahlenquelle und einem digitalen Strahlungsbildempfänger angeordneten, bezüglich eines bestimmten Abstands zum Fokus der Strahlenquelle fokussierten Streustrahlenrasters, welche Bildstörungen durch eine defokussierungsbedingte Schwächung der auf den Festkörperbilddetektor einfallenden Primärstrahlung verursacht sind, wobei der Strahlungsbildempfänger matrixförmig angeordnete strahlungssensitive Pixel und eine Einrichtung zur pixelweisen Verstärkung der strahlungsabhängigen Signale aufweist.

10

15

20

Der Einsatz von Streustrahlenrastern in der Strahlen-, insbesondere der Röntgendiagnostik ist die am meisten verwendete und anerkannte Methode, um den Streustrahlenanteil an der bildgebenden Strahlung, der Primärstrahlung zu reduzieren und den Kontrast der Strahlungsbilddaufnahme zu verbessern. Die heute meist verwendeten Raster sind fokussierte Linienraster.

25

Diese Linienraster bestehen aus Absorberlamellen, in der Regel Bleilamellen, die in ein Trägermaterial, in der Regel Papier- oder Kunststofflagen, eingebettet sind. Zur Fokussierung sind die Absorberlamellen so derart bezüglich der Vertikalen stehend angeordnet beziehungsweise geneigt, dass die divergierende Primärstrahlung zwischen den Lamellen hindurchtreten kann, die Streustrahlung aber blockiert wird (Rasterfokussierung). Jeder Raster ist bezüglich eines bestimmten, definierten Abstandes zum Fokus der Strahlenquelle fokussiert. Die Neigung der Absorberlamellen stimmt mit der

30

35

Divergenz des Primärstrahlenkegels in einem bestimmten Abstand, bezüglich welcher der Raster fokussiert ist, überein. Jedes Abweichen vom Fokussierungsabstand führt zu einem

Dosisabfall der Primärstrahlung vor allem in den Bildrandgebieten. Dies liegt darin begründet, dass bei einer Abweichung vom Fokussierungsabstand die lichte Weite der zwischen den Lamellen abnimmt und mithin mehr Primärstrahlung über die Absorberlamellen absorbiert wird, wobei die Absorption mit zunehmender Abweichung vom Fokussierungsabstand, also mit zunehmender Defokussierung zunimmt.

Die bei jedem Raster angegebenen Abstandstoleranzen, innerhalb welcher eine Defokussierung noch zu annehmbaren, diagnostisch aussagekräftigen Bildern führt, gehen von einem Dosisabfall von 40 % am Bildempfängerrand von der Rastermitte gesehen aus (IEC/DIN 60627). Dabei ist der Abfall nicht nur durch die unterschiedliche Durchlässigkeit des Rasters bei Nichtfokussierung, sondern auch durch die nach außen hin geringer werdende Dosis (Abstandsquadratgesetz) gegeben. Der unter diesen Voraussetzungen verwendete Abstandstoleranzbereich ist vor allem vom Schachtverhältnis „R“, also dem Verhältnis der Breite des Schachtes zwischen zwei Lamellen zur Höhe der Lamellen bestimmt. Bei den zunehmend verwendeten digitalen Strahlungsbildempfängern, z.B. in Form von Festkörperdetektoren oder Flachdetektoren, werden Streustrahlerraster mit gegenüber den z.B. bei Filmsystemen verwendeten Rastern deutlich höherer Linienzahl (von z.B. 80 Linien/cm) verwendet. Um die gleiche Selektivität (Streustrahlenunterdrückung) wie bei den bei der konventionellen Filmradiographie verwendeten bewegten Rastern (Schachtverhältnis  $R = 8$  oder  $12$ ) zu erhalten, verwendet man bei Rastern mit hoher Linienzahl höhere Schachtverhältnisse (z.B.  $R = 15$ ).

30

Nachteilig bei der Verwendung derartiger Raster im Zusammenhang mit digitalen Bilddetektoren ist aber der Abstandstoleranzbereich, also der Bereich, innerhalb welchem eine noch zu akzeptablen Bildern führende Defokussierung gegeben sein kann, gegenüber den z.B. bei üblichen Filmsystemen bewegten Rastern mit geringeren Schachtverhältnissen deutlich eingeschränkt. Dieser eingeschränkte Abstandstoleranzbereich

35

verlangt ein konsequentes Wechseln der Raster bei sich änderndem Film-Fokus-Abstand, also dem Abstand des Fokus der Strahlenquelle zum Festkörperbilddetektor.

- 5 Der Wechsel des Rasters jedoch ist zeitaufwendig und lässt einen kontinuierlichen Arbeitsfluss im Rahmen der Patientenuntersuchung nicht zu. Darüber hinaus sind jeweils unterschiedliche Raster vorzuhalten, die bezüglich unterschiedlicher Film-Fokus-Abstände fokussiert sind, um beispielsweise  
10 einen üblichen Abstandsbereich von 115 cm bis 180 cm abdecken zu können.

Der Erfindung liegt damit das Problem zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung anzugeben, das oder die die genannten  
15 Probleme beseitigt.

Zur Lösung dieses Problems ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass zumindest ein Teil der pixelweise gelieferten Signale über die  
20 Verstärkungseinrichtung in Abhängigkeit des Ist-Abstands des Streustrahlenrasters zum Fokus verstärkt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren schlägt vor, den sich allein durch die Defokussierung ergebenden Störungsanteil, also die defokussierungsbedingte Dosisschwächung, die sich in entsprechend schwächeren Pixelsignalen zeigt, elektronisch zu kompensieren, in dem wenigstens ein Teil der störungsbedingt geschwächten Signale über die Verstärkungseinrichtung, die einem üblichen Strahlungsdetektor zugeordnet ist, verstärkt  
30 werden. Hierdurch ist es möglich, je nach Bedarf und Anforderung die defokussierungsbedingte Störung kompensieren zu können, in dem eben die fokussierungsbedingt schwächeren Signale angehoben und mithin elektronisch angepasst und ausgeglichen werden. Hierdurch kann sich ein zum Rand des Festkörperbilddetektors hin etwas stärker werdendes Rauschen ein-  
35 stellen, was jedoch im Hinblick auf den informations- und arbeitstechnischen Gewinn toleriert werden kann. Im Idealfall

besteht so die Möglichkeit, fast die gesamte defokussierungsbedingte Signalschwächung hierdurch über die gesamte Detektorfläche beziehungsweise Fläche der Pixelmatrix kompensieren zu können. Die erfindungsgemäße Kompensation greift zusätzlich zur bei digitalen Bilddetektoren üblichen „Flat Field“-Korrektur, mittels welcher die sich aus dem Abstandsquadratgesetz ergebende Dosischwächung zum Detektorrand hin korrigiert wird. Es lässt sich also unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowohl die übliche Flat-Field-Korrektur wie auch die defokussierungsbedingte Korrektur erreichen. Hierdurch ist es möglich, ein und denselben Raster, das auf einen bestimmten Film-Fokus-Abstand fokussiert ist, über den gesamten Routinearbeitsbereich (z.B. von 100 cm bis 200 cm Film-Fokus-Abstand) zu verwenden. Damit ist ein kontinuierliches Arbeiten möglich, die manuellen Wechseltätigkeiten, die umständlich sind und den Untersuchungsfluss unterbrechen, fallen damit nicht mehr an. Im Folgenden wird von Festkörperbilddetektoren gesprochen, jedoch kann anstelle eines solchen jeder andersartig digitale Strahlungsbildempfänger verwendet werden.

Nach einer ersten erfindungsgemäßen Ausgestaltung kann vorgesehen sein, die pixelbezogenen Verstärkungsfaktoren rechnerisch für den gegebenen Ist-Abstand des Streustrahlenrasters zum Fokus bezogen auf den originären Fokussierungsabstand zu bestimmen. Nach dieser Erfindungsausgestaltung werden also die Verstärkungsfaktoren, über die jedes einzelne Pixelsignal verstärkt wird, berechnet. Für die Berechnung der Verstärkungsfaktoren benötigte Parameter, wie rasterspezifische Werte (Schachtverhältnis, Fokussierungsabstand des Rasters, der Ist-Film-Fokus-Abstand, die Detektorempfindlichkeit etc.) sind bei Festkörperbilddetektor-Systemen verfügbar, so dass auf die bekannten, sich bereits aus der genannten Vorschrift IEC/DIN 60627 ergebenden Formeln zurückgegriffen werden kann. Anhand dieser ist es möglich, zu einem gegebenen Ist-Abstand des Rasters zum Fokus den tatsächlichen defokussierungsbedingten Signalschwächungsverlauf zu bestimmen und damit zu

ermitteln, wie die lokale, pixelbezogene Signalschwächung beziehungsweise deren Größe ist. Dies jeweils bezogen auf eine Belichtung ohne Untersuchungsobjekt, wenn also lediglich das Streustrahlenraster im Strahlengang angeordnet ist. Anhand dieser lokalen Pixelverstärkungsfaktoren kann dann jedes Pixelsignal der eigentlichen Strahlungsbildaufnahme des Untersuchungsobjekts entsprechend der allein vom Streustrahlenraster herrührenden Defokussierungsschwächung verstärkt werden.

Eine Alternative zur rechnerischen Ermittlung der Verstärkungsfaktoren sieht dem gegenüber vor, die pixelweisen Verstärkungsfaktoren aus einer dem Ist-Abstand des Streustrahlenrasters zum Fokus zugeordneten Tabelle zu wählen. Bei dieser Erfindungsausgestaltung sind in der Verstärkungs-  
einrichtung mehrere Korrekturtabellen hinterlegt, die zu bestimmten Abständen eines fokussierten Streustrahlenrasters zum Fokus aufgenommen wurden. Zur Aufnahmen der Korrekturtabellen befindet sich lediglich der Streustrahlenraster im jeweils gewählten, vom Fokussierungsabstand abweichenden Abstand im Strahlengang. Man erhält hierüber einen Signalverlauf über die Pixelmatrix, der die defokussierungsbedingte Signalschwächung wiedergibt. Hieraus können nun entsprechende pixelbezogene Verstärkungsfaktoren bestimmt werden, die in der endgültigen Korrekturtabelle zusammengefasst werden. Ist nun der Ist-Abstand des Rasters zum Fokus bekannt, wird die diesem Ist-Abstand zugeordnete Korrekturtabelle oder die ihm nächst kommende Korrekturtabelle (sofern zum Ist-Abstand keine Korrekturtabelle, die bei genau diesem Abstand erstellt wurde, vorliegt) gewählt und diejenigen Verstärkungsfaktoren aus der Tabelle verwendet, die den tatsächlich zu verstärkenden Pixelsignalen zugeordnet sind.

Dabei kann bei einer Differenz zwischen dem Ist-Abstand und dem der Tabelle zugrunde liegenden Abstand der jeweilige Verstärkungsfaktor, wie er der Tabelle zu entnehmen ist, rechnerisch angepasst werden. Nachdem wie beschrieben in der

Regel nur eine bestimmte Anzahl an Tabellen zu bestimmten Abständen aufgenommen wurde, und der Ist-Abstand nicht mit dem der Korrekturtabelle zugrunde liegenden Abstand übereinstimmen muss, kann auf diese Weise eine rechnerische Anpassung erfolgen, gegebenenfalls durch geeignete Interpolation zwischen den Werten zweier nächstliegender abstandsspezifischer Tabellen etc.

Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung des Erfindungsgedankens kann vorgesehen sein, dass nur die Pixelsignale derjenigen Pixel verstärkt werden, deren Signale - bezogen auf die defokussierungsbedingte Signalschwächung ausschließlich des Streustrahlenrasters ohne im Strahlengang befindlichem Durchleuchtungsobjekt - unterhalb eines bestimmten Schwellwert liegen. Wie oben ausgeführt gelten Strahlungsbilder mit einem Dosisabfall bis zu maximal 40 % als noch annehmbar. Ergibt sich nun, dass die tatsächliche Defokussierung des Streustrahlenrasters zum gewählten Fokusabstand zu einer stärkeren Schwächung als den genannten 40 % z.B. nur in schmalen Pixelmatrixbereichen an den gegenüberliegenden Detektorrändern führt, werden im Rahmen der Kompensation auch nur die Pixelsignale dieser stärker als um 40 % geschwächten Signale verstärkt. Dabei kann der Schwellwert eine defokussierungsbedingte Schwächung von 40 % definieren, wie gemäß Vorschrift vorgesehen, jedoch auch weniger, je nach Auslegung.

Eine entsprechend zweckmäßige Erfindungsausgestaltung sieht ferner vor, die Signale durch die Verstärkungsfaktoren auf einen vorgegebenen Schwellwert zu verstärken. Auch hier wird der Umstand genutzt, dass bei bis zu 40 % Signalabfall noch akzeptable Bilder vorliegen. Pixelsignale, die stärker geschwächt sind, werden nun nicht auf 100 % angehoben, sondern lediglich beispielsweise auf 60 %, das heißt, dass effektiv ein Signalabfall bezüglich des angehobenen Pixels von nur zulässigen 40 % vorliegt. Dies führt zu einem akzeptablen Strahlungsbild, zum anderen hält sich das verstär-



kungsbedingte Rauschen in völlig akzeptablen Grenzen. Selbstverständlich ist es möglich, auch andere Schwellwerte, z.B. 70 % oder 80 % zu wählen. Zweckmäßig ist es dabei, wenn der Schwellwert (sei es der, der die Pixelsignale definiert die anzuheben sind, oder sei es der Schwellwert, der die Verstärkungsgrenze definiert) einstellbar ist, mithin also während des Betriebs gewählt werden kann.

Neben dem erfindungsgemäßen Verfahren betrifft die Erfindung ferner eine Vorrichtung zur Strahlungsbildaufnahme, insbesondere geeignet zur Durchführung des Verfahrens, umfassend eine Strahlenquelle, einen digitalen Strahlungsbilddetektor mit matrixförmig angeordneten strahlungssensitiven Pixeln mit zugeordneter Einrichtung zur pixelweisen Verstärkung der Pixelsignale, und einen zwischen Strahlenquelle und Strahlungsbilddetektor angeordneten, bezüglich eines bestimmten Abstands zum Fokus der Strahlenquelle fokussierten Streustrahlenraster. Diese Vorrichtung zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, dass die Einrichtung zur Kompensation von Bildstörungen hervorgerufen durch eine Defokussierung des Streustrahlenrasters, welche Bildstörungen durch eine defokussierungsbedingte Schwächung der auf den Strahlungsbilddetektor einfallenden Primärstrahlung verursacht sind, zur pixelweisen Verstärkung zumindest eines Teils der gelieferten Signale in Abhängigkeit des Ist-Abstands des Streustrahlenrasters zum Fokus ausgebildet ist.

Dabei kann die Einrichtung zur rechnerischen Ermittlung der pixelbezogenen Verstärkungsfaktoren für den gegebenen Ist-Abstand des Streustrahlenrasters zum Fokus bezogen auf den originären Fokussierungsabstand ausgebildet sein. Diese zusätzliche Verstärkung ist eine zu der ohnehin von der Verstärkungseinrichtung vorzunehmenden Flat-Field-Korrektur, die zur Kompensation der durch das Abstandsquadratgesetz bedingten Schwächung zum Rand hin tritt. Alternativ zur rechnerischen Ermittlung (oder zusätzlich dazu) können in der Einrichtung eine oder mehrere, einem oder mehreren bestimmten

Abständen des Streustrahlenrasters zum Fokus zugeordnete Tabellen mit pixel-spezifischen Verstärkungsfaktoren abgelegt sein, wobei die Einrichtung die pixelweisen Verstärkungsfaktoren aus einer dem Ist-Abstand des Streustrahlenrasters zum Fokus zugeordneten Tabelle wählt. Dabei kann die Einrichtung zur rechnerischen Anpassung der der gewählten Tabelle entnommenen Verstärkungsfaktoren bei einer Differenz zwischen dem Ist-Abstand und dem der Tabelle zugrunde liegenden Abstand ausgebildet sein. Beispielsweise werden bei einem auf einem Film-Fokus-Abstand von 150 cm fokussierten Streustrahlenraster Korrekturtabellen zu den Abständen 170 cm, 190 cm beziehungsweise 130 cm, 110 cm erstellt. Um nun bei einem Ist-Abstand, der zwischen diesen Werten liegt, eine optimale Verstärkung zu erzielen, können die der nächstliegenden Tabelle entnommenen und zu verarbeitenden Verstärkungsfaktoren rechnerisch angepasst werden, z.B. in der Abhängigkeit der Differenz „Ist-Abstand:Tabellen-Abstand“ etc.

Schließlich kann die Einrichtung zur Verstärkung der Pixel-signale nur derjenigen Pixel, deren Signale - bezogen auf die defokussierungsbedingte Signalschwächung ausschließlich des Streustrahlenrasters ohne im Strahlengang befindlichem Durchleuchtungsobjekt - unterhalb eines vorbestimmten Schwellwerts ausgebildet sein, wobei dieser Schwellwert eine defokussierungsbedingte Schwächung von 40 % oder weniger definieren kann. Auch eine Ausbildung der Einrichtung zur Verstärkung der Signale auf einen vorgegebenen Schwellwert, der unterhalb von 100 % bezogen auf das über die Flat-Field-Korrektur, die im Rahmen einer früheren Kalibrierung bestimmt wurde, korrigierte Signal liegt, ist denkbar. Auch hier kann der Schwellwert eine Signalschwächung von 40 % oder weniger definieren und kann wie der vorgenannte Schwellwert einstellbar sein:

Der Streustrahlenraster selbst kann ein Linienraster mit fokussierten Absorptionslamellen sein. Daneben kann es sich auch um ein Zellen-Raster mit einer die fokussierten Rechteck-Zellen mit einer Strahlendurchtrittsöffnung defi-

nierenden Trägerstruktur mit an den zu den Strahlendurchtrittsoffnungen weisenden Innenseiten der Trägerstruktur auf-  
gebrachter Absorptionsbeschichtung handeln. Solche Zellen-Raster werden z.B. in einem Rapid-Prototyping-Verfahren unter  
5 Verwendung der Stereolithographietechnik aus strahlentransparentem Polymerharz gebildet.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungs-  
10 beispielen sowie anhand der Zeichnungen:

Figur 1 eine erfindungsgemäße Bildaufnahmevorrichtung,

Figur 2 ein Diagramm zur Darstellung des Signalverlaufs und  
15 damit der Schwächung über die Pixelmatrix bei fokussierter und defokussierter Rasteranordnung vor einer Verstärkung der Pixelsignale zur Kompensation,

20 Figur 3 das Diagramm aus Figur 2 nach der erfindungsgemäßen Signalanhebung, und

Figur 4 ein Diagramm zur Darstellung des berechneten Schwächungsverlaufs für verschiedene Rasterabstände.

25 Figur 1 zeigt in Form einer Prinzipskizze eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zur Strahlungsbildaufnahme. Diese umfasst eine Strahlungsquelle 2 mit einem Fokus 3, einem Festkörperstrahlungsdetektor 4 mit einer aus einer Vielzahl von  
30 Pixel 5 (z.B. ca. 3000 x 3000 Pixel) sowie eine dem Festkörperstrahlungsdetektor 4 zugeordnete Einrichtung 6 zur Aufnahme der pixelseitig erzeugten Signale, zur Verarbeitung derselben und zur Erstellung eines an einem Monitor 7 ausgebaren Strahlungsbildes.

35

Im Strahlengang 8, der ersichtlich ausgehend vom Fokus divergiert, ist ein Streustrahlenraster 9 angeordnet, im gezeigten

Ausführungsbeispiel in Form eines Linienrasters, mit einer Vielzahl von Absorptionslamellen 10, die bezüglich des Fokus 3 ausgerichtet sind. Es handelt sich also um ein fokussiertes Linienraster. Über diesen fokussierten Streustrahlenraster 9 wird Streustrahlung, die bei Durchstrahlen eines im Strahlengang befindlichen Objekts 11 gestreut wird, absorbiert, da der Streustrahlenraster im Wesentlichen nur die nicht gestreute, also geradlinig vom Fokus zum Festkörperbilddetektor 4 laufende Primärstrahlung durchlässt.

10

Der Streustrahlenraster 9 ist bezüglich eines bestimmten Abstands des Fokus 3 zur Fläche der Pixelmatrix 5 fokussiert und zentriert. Ändert sich nun der Abstand, wird also die Strahlungsquelle 2 näher zum Festkörperbilddetektor 4 oder von diesem weg bewegt, so befindet sich der Streustrahlenraster 9 in defokussierter Stellung, das heißt die Absorberlamellen sind nicht mehr exakt bezüglich des Fokus 3 ausgerichtet. Dies führt dazu, dass mit zunehmender Fokussierung der ungewollt über die Absorberlamellen 10 ebenfalls absorbierte Anteil an Primärstrahlung größer wird, mithin also die auf die Pixelmatrix 9 treffende bildgebende Primärstrahldosis reduziert wird. Der Dosisabfall tritt verstärkt zum Rand hin auf, wesentlich weniger in der Bildmitte, da sich an den im Bildmittenbereich im Wesentlichen senkrecht stehenden Absorberlamellen 10 hinsichtlich ihrer Ausrichtung zum Fokus auch im defokussierten Fall kaum etwas ändert.

15

20

25

Figur 2 zeigt in Form eines Prinzipdiagramms den Verlauf der Pixelsignale über die Fläche der Pixelmatrix 5, wobei hier 3000 Pixel in einer Detektorrichtung senkrecht zum Verlauf der Absorberlamellen des Rasters vorgesehen sind. Die lokale Pixelposition ist längs der Abszisse, die Signalstärke längs der Ordinate aufgetragen. Bei 100 % liegt keinerlei Schwächung vor.

35

Dargestellt sind drei Kurven I, II und III. Die Kurve I, die nahe der 100 %-Linie verläuft, ist die Kurve, die man erhält,

wenn der Streustrahlenraster 9 exakt im Fokussierungsabstand angeordnet ist. Zum Rand hin ergibt sich eine minimale Schwächung, die durch das Abstandsquadratgesetz bedingt ist. Diese von Haus aus gegebene Schwächung wird über die Einrichtung 6 kompensiert, und zwar rechnerisch im Rahmen einer Global-Gain-Korrektur, wo die divergenzbedingte Schwächung ausgeglichen wird. Hierzu wird zunächst eine erste Kalibration durchgeführt, im Rahmen welcher lediglich ein Kupfer-Filter in den Strahlengang gebracht wird, der Streustrahlenraster 9 befindet sich nicht im Strahlengang. Es wird dann eine Signalkurve aufgenommen, die ausschließlich die eigentlich ungeschwächten Signale zeigt und aus der dann der Dosisabfall zum Rand hin erkennbar ist. Dieser sich hier ergebende Dosisabfall wird erfasst und im Rahmen der Flat-Field-Korrektur ausgeglichen. Die Figuren 2 und 3 zeigen die Kurven jeweils unter Berücksichtigung dieser Flat-Field-Korrektur und geben nur die fokussierungsbedingte Schwächung an.

Wie beschrieben zeigt die Kurve I den Signalverlauf nach Flat-Field-Korrektur bei im Fokussierungsabstand befindlichem Streustrahlenraster. Die Kurve II zeigt den Signalverlauf, wenn der Abstand des Fokus 3 zur Pixelmatrix 5 vergrößert wird, also die Strahlenquelle 2 vom Festkörperbilddetektor 4 wegbewegt wird. Ersichtlich ist dort zu den Randbereichen hin eine immer stärker werdende Schwächung, die im gezeigten Beispiel am Rand bis etwas unter 80 % geht, das heißt es liegt eine Schwächung von etwas über 20 % am Rand vor. Ausgehend vom einen Fokussierungsabstand, auf den der Streustrahlenraster 9 fokussiert ist, von z.B. 150 cm, zeigt die Kurve II den Beispielsfall für einen Abstand von 180 cm.

Die Kurve III zeigt nun den Signalverlauf bei einer Verkürzung des Abstands, wenn also die Strahlenquelle 2 ausgehend vom Fokussierungsabstand zum Festkörperbilddetektor 4 hinbewegt wird, z.B. in einen Abstand von 115 cm. In diesem Fall setzt ein deutlich stärker Dosisabfall zum Rand hin ein, da die lichte Weite der Kanäle zwischen den Absorberlamellen 10

wesentlich stärker abnimmt als bei einer Abstandsvergrößerung. Der Dosisabfall beträgt in den Randbereichen bis zu ca. 50 %.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren wie auch die erfindungsgemäße Vorrichtung lässt es nun zu, diesen defokussierungsbedingten Signalabfall soweit erforderlich zu kompensieren. Hierzu sind - siehe Figur 1 - in der Einrichtung 6 entweder verschiedene Korrekturtabellen 12 abgelegt, in der pixelspezifische Verstärkungsfaktoren abgelegt sind, über die die Signale der Beispielskurven II und III verstärkt werden. Alternativ dazu kann die Einrichtung auch zu rein rechnerischen Ermittlung der Verstärkungsfaktoren anhand der Formel oder des Rechenalgorithmus 13 ausgebildet sein.

15

Im erst genannten Fall liegen im gezeigten Beispiel zwei Korrekturtabellen vor, die vor der eigentlichen Bildaufnahme in Kalibrierungsaufnahmen bestimmt wurden. Hierzu befindet sich kein Objekt im Strahlengang, sondern lediglich der Streustrahlenraster 9, das in bestimmten defokussierten Abständen positioniert ist. Im Falle der Tabelle  $T_{120}$  betrug der Fokusabstand zur Pixelmatrix 120 cm, im Falle der Tabelle  $T_{180}$  betrug er 180 cm. Zur Kompensation wird nun je nach tatsächlichem Ist-Abstand diejenige Tabelle gewählt, die dem Ist-Abstand am nächsten liegt. Bezüglich der Kurve II wird zur Kompensation die Tabelle  $T_{180}$  gewählt, da der Ist-Abstand, der der Kurve II zugrundeliegt, dem Korrekturtabellenabstand entspricht. Im Falle der Kurve III wird die Tabelle  $T_{120}$  gewählt, wobei in diesem Fall der Ist-Abstand von 115 cm nicht dem Korrekturtabellenabstand entspricht.

30

In den Korrekturtabellen 12 ist für jeden Pixel der entsprechende Verstärkungsfaktor abgelegt, um welchen das Pixelsignal verstärkt werden muss, um die der fokussierungsbedingte Signalschwächung auf einen gewünschten Wert zu kompensieren. Nachdem bezüglich der Kurve II der Ist-Abstand und der Tabellen-Abstand übereinstimmen, können die Verstärkungsfaktoren

35

dieser Tabelle unmittelbar verwendet werden. Im Falle der Kurve III und der Tabelle  $T_{120}$  ist es erforderlich, die Verstärkungsfaktoren der Tabelle etwas rechnerisch anzupassen, um die Differenz zwischen dem Ist-Abstand und dem Tabellen-  
5 Abstand (115 cm zu 120 cm) kompensieren beziehungsweise ausgleichen zu können.

Bezüglich der Kompensierung sind nun verschiedene Verfahrensvarianten denkbar, die bezüglich der Kurve III dargestellt  
10 sind. Zum einen besteht die Möglichkeit, nur diejenigen Pixelsignale zu verstärken, die unterhalb eines bestimmten Schwellwerts beziehungsweise Schwellwertsignals liegen. Im gezeigten Beispiel gemäß Figur 2 wurde ein erstes Schwellwertsignal  $S_1$  entsprechend 60 % Signal beziehungsweise 40 %  
15 Schwächung gewählt. Wie durch den Pfeil a dargestellt, werden im Rahmen der Signalverstärkung nur die Pixelsignale angehoben, die unterhalb dieses Schwellwerts  $S_1$  liegen. Diese können nun auf einen beliebigen Wert verstärkt werden, in Figur 3 ist der Fall dargestellt, dass die Pixelsignale auf  
20 genau den Schwellwert  $S_1$  verstärkt werden, wodurch sich die in Figur 3 gezeigte Kurve III' ergibt. Daneben besteht natürlich die Möglichkeit, diese zu verstärkenden Pixelsignale auch weiter anzuheben, z.B. auf einen zweiten Schwellwert. Dieser kann je nach Auslegung der Vorrichtung gewählt werden,  
25 er kann auch gegebenenfalls vor Ort eingestellt werden.

Ferner zeigt Figur 2 einen zweiten Schwellwert  $S_2$ , der im gezeigten Beispiel 80 % Signalstärke beziehungsweise 20 % Schwächung entspricht. Die Pfeile b zeigen, dass wiederum nur  
30 diejenigen Pixelsignale angehoben werden, die um mehr als 20 % geschwächt werden, die also unterhalb von  $S_2$  liegen. Die sich hieraus ergebende verstärkte Kurve II' ist in Figur 3 ebenfalls dargestellt.

35 Ersichtlich lässt es diese Verstärkung zu, die sich defokussierungsbedingte Signalschwächung hinreichend zu kompensieren. Wird nun ein Objekt untersucht, so erhält man selbstver-

ständig über die gesamte Pixelmatrix eine sich von den in Figur 2 gezeigten Signalverläufen ohne Untersuchungsobjekt abweichenden Signalverlauf, der abhängig von der Objektschwächung ist. Aus den Korrekturtabellen ist jedoch bekannt, wie die tatsächliche defokussierungsbedingte Schwächung, die zur eigentlichen Objektschwächung noch hinzutritt und einen Störanteil darstellt, sich auf die Signale auswirkt. Die tatsächlichen Objektbildsignale werden dann - sofern sie gemäß den Korrekturtabellen anzuheben sind - entsprechend angehoben, so dass im Endeffekt zur eigentlichen Bilderzeugung nur Signale verwendet werden, die im Wesentlichen der tatsächlichen Objektschwächung entsprechen beziehungsweise diese wiedergeben.

Die gleiche Korrektur kann auch unter Verwendung der mit 13 gekennzeichneten Formel beziehungsweise diesem Algorithmus erfolgen. Hierüber ist es möglich, aus der Kenntnis des Ist-Abstandes des Fokus 3 zur Pixelmatrix 5 sowie der Kenntnis der relevanten Rasterparameter die jeweilige Schwächung, die defokussierungsbedingt bei diesem Ist-Abstand auftritt, zu ermitteln und rechnerisch die Verstärkungsfaktoren zu bestimmen, ohne dass es der Hinterlegung der bereits beschriebenen Korrekturtabellen bedarf.

Die Berechnung des Schwächungsverlaufs über die Detektorfläche kann anhand folgender Formeln erfolgen:

$$V1 = \frac{r * c * (f0 - f1)}{f0 * f1} \quad (I) \quad \text{bzw.}$$

$$V2 = \frac{r * c * (f2 - f0)}{f2 * f0} \quad (II)$$

Dabei gilt:

V1, V2 = Schwächung

r = Schachtverhältnis



$c$  = horizontaler Abstand von der Rastermitte in cm (Ort der zu berechnenden Schwächung)

$f_0$  = Fokussierungsabstand in cm

$f_1, f_2$  = Ist-Abstand des Rasters zum Fokus in cm

5

wobei  $V_1$  die Schwächung bei einer Verkürzung des Abstands unter den Fokussierungsabstand ( $f_1 < f_0$ ) und  $V_2$  die Schwächung bei einer Vergrößerung des Abstands über den Fokussierungsabstand ( $f_2 > f_0$ ) angibt.

10

Anhand der Formeln (I) und (II) kann der Verlauf der Schwächung in Abhängigkeit des Ist-Abstands für jeden relevanten Punkt in Horizontalrichtung errechnet werden. Nachdem der Zentralstrahl die Mitte definiert, wird bei einem Detektor mit einer Kantenlänge von 40 cm der Wert  $c$  aus dem Intervall von 0 bis  $\pm 20$  cm je nach vorgegebener Teilung gewählt, z.B. in 1 cm-Schritten. Als  $f_1$  bzw.  $f_2$  wird der mittels einer geeigneten Positionssensorik erfasste Ist-Abstand des Rasters zum Fokus erfasst. Je nach dem, ob der Ist-Abstand größer oder kleiner als  $f_0$  ist, wird entweder die Formel (I) oder (II) gewählt.

15

20

25

30

35

Ist die tatsächliche Schwächung im jeweils betrachteten Punkt bekannt, die im Berechnungsfall linear verläuft, kann zu jedem betrachteten Punkt ermittelt werden, ob er zu verstärken ist oder nicht. Z.B. werden nur diejenigen Punkte bzw. Pixel-signale verstärkt, die unterhalb des beschriebenen Schwellwerts, z.B. von 40% Schwächung liegen. Je nach Ausgestaltung des Verstärkungsmodus können nun die anzuhebenden Signale z.B. auf einen zweiten Schwellwert verstärkt werden, z.B. auf die genannten 40%, so dass insgesamt noch vorschriftsgemäße Bilddaten vorliegen bzw. ein normgemäßes Bild erzeugt werden kann. Hierzu werden zu jedem tatsächlich zu verstärkenden Signal der relevante, die gewünschte Verstärkung ermöglichende Verstärkungsfaktor aus dem gegebenen Ist-Schwächungsfaktor bestimmt. Dieser wird dann zusammen mit dem Global-Gain-Verstärkungsfaktor verarbeitet.

Figur 4 zeigt exemplarisch den Schwächungsverlauf für einige ausgewählte Defokussierungsabstände. Der Fokussierungsabstand wurde zu 150 cm angenommen. Dargestellt sind zusätzlich die Schwächungsverläufe für die Abstände  $f_2 = 160\text{cm}$ ,  $170\text{cm}$  und  $180\text{cm}$ . Längs der Abszisse ist  $c$ , also der Abstand vom Zentralstrahl in mm aufgetragen, wobei exemplarisch nur die Werte für  $f_2$  in 10mm-Abständen dargestellt sind. Längs der Ordinate ist die Schwächung  $V_2$  angegeben. Dargestellt ist nur ein Teil des Gesamtschwächungsverlaufs in „positiver“  $c$ -Richtung, die Kurven verlaufen mit entgegengesetzter Steigung für die andere Diagrammhälfte. Ersichtlich verlaufen die Schwächungskurven linear. Die Schwächungskurve im Fokussierungsabstand läuft zwangsläufig genau auf der Abszisse, während die Steigung mit zunehmendem Defokussierungsabstand zunimmt. Dasselbe Verhalten ergibt sich, wenn der Ist-Abstand unter den Fokussierungsabstand verkürzt wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von Bildstörungen bei einer Strahlungsbildaufnahme hervorgerufen durch eine Defokussierung eines im Strahlengang zwischen einer Strahlenquelle und einem digitalen Strahlungsbildempfänger angeordneten, bezüglich eines bestimmten Abstands zum Fokus der Strahlenquelle fokussierten Streustrahlenrasters, welche Bildstörungen durch eine defokussierungsbedingte Schwächung der auf den Strahlungsbildempfänger einfallenden Primärstrahlung verursacht sind, wobei der Festkörperbilddetektor matrixförmig angeordnete strahlungssensitive Pixel und eine Einrichtung zur pixelweisen Verstärkung der strahlungsabhängigen Signale aufweist, bei welchem Verfahren zumindest ein Teil der pixelweise gelieferten Signale über die Verstärkungseinrichtung in Abhängigkeit des Ist-Abstands des Streustrahlenrasters zum Fokus verstärkt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die pixelbezogenen Verstärkungsfaktoren rechnerisch für den gegebenen Ist-Abstand des Streustrahlenrasters zum Fokus bezogen auf den originären Fokussierungsabstand ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die pixelweisen Verstärkungsfaktoren aus einer dem Ist-Abstand des Streustrahlenrasters zum Fokus zugeordneten Tabelle gewählt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Differenz zwischen dem Ist-Abstand und dem der Tabelle zugrundeliegenden Abstand die Verstärkungsfaktoren rechnerisch angepasst werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nur

die Pixelsignale derjenigen Pixel verstärkt werden, deren Signale - bezogen auf die defokussierungsbedingte Signal- schwächung ausschließlich des Streustrahlenrasters - unter- halb eines vorbestimmten Schwellwerts liegen.

5

6. Verfahren nach Anspruch 5, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t , dass der Schwellwert eine defo- kussierungsbedingte Schwächung von 40% oder weniger defi- niert.

10

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Signale durch die Verstärkungsfaktoren auf einen vorgegebenen Schwellwert verstärkt werden.

15

8. Verfahren nach Anspruch 7, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t , dass der Schwellwert eine defo- kussierungsbedingte Schwächung von 40% oder weniger defi- niert.

20

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Schwellwert einstellbar ist.

25

10. Vorrichtung zur Strahlungsbildaufnahme, insbesondere ge- eignet zur Durchführung des Verfahrens nach einem der voran- gehenden Ansprüche, umfassend eine Strahlenquelle, einen di- gitalen Strahlungsbildempfänger mit matrixförmig angeordneten strahlungssensitiven Pixeln mit zugeordneter Einrichtung zur pixelweisen Verstärkung der Pixelsignale, und einen zwischen Strahlenquelle und Strahlungsbildempfänger angeordneten, be- züglich eines bestimmten Abstands zum Fokus der Strahlen- quelle fokussierten Streustrahlenraster, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Einrichtung (6) zur Kompensation von Bildstörungen hervorgerufen durch eine Defo- kussierung des Streustrahlenrasters (9), welche Bildstörungen durch eine defokussierungsbedingte Schwächung der auf den

30

35

Strahlungsbildempfänger (4) einfallenden Primärstrahlung verursacht sind, zur pixelweisen Verstärkung zumindest eines Teil der gelieferten Signale in Abhängigkeit des Ist-Abstands des Streustrahlenrasters (9) zum Fokus (3) ausgebildet ist.

5

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass die Einrichtung (6) zur  
rechnerischen Ermittlung der pixelbezogenen Verstärkungs-  
faktoren für den gegebenen Ist-Abstand des Streustrahlen-  
rasters (9) zum Fokus (3) bezogen auf den originären Fokus-  
sierungsabstand ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass in der Einrichtung (6) eine  
oder mehrere, einem oder mehreren bestimmten Abständen des  
Streustrahlenrasters (9) zum Fokus (3) zugeordnete Tabellen  
(12) mit pixelspezifischen Verstärkungsfaktoren abgelegt  
sind, wobei die Einrichtung (6) die pixelweisen Verstär-  
kungsfaktoren aus einer dem Ist-Abstand des  
Streustrahlenrasters (9) zum Fokus (3) zugeordneten Tabelle  
wählt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass die Einrichtung (6) zur  
rechnerischen Anpassung der der gewählten Tabelle (12) ent-  
nommenen Verstärkungsfaktoren bei einer Differenz zwischen  
dem Ist-Abstand und dem der Tabelle zugrunde liegenden Ab-  
stand ausgebildet ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Ein-  
richtung (6) zur Verstärkung der Pixelsignale nur derjenigen  
Pixel, deren Signale - bezogen auf die defokussierungsbe-  
dingte Signalschwächung ausschließlich des Streustrahlen-  
rasters - unterhalb eines vorbestimmten Schwellwerts ( $S_1$ ,  $S_2$ )  
liegen, ausgebildet ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass der Schwellwert ( $S_1$ ,  $S_2$ )  
eine defokussierungsbedingte Schwächung von 40% oder weniger  
definiert.

5

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Ein-  
richtung (6) zur Verstärkung der Signale auf einen vorgege-  
benen Schwellwert ( $S_1$ ,  $S_2$ ) ausgebildet ist.

10

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass der Schwellwert ( $S_1$ ,  $S_2$ )  
eine defokussierungsbedingte Schwächung von 40% oder weniger  
definiert.

15

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der  
Schwellwert ( $S_1$ ,  $S_2$ ) einstellbar ist.

20

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 18, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der  
Streustrahlenraster (9) ein Linienraster mit fokussierten  
Absorptionslamellen (10) oder ein Zellen-Raster mit einer die  
fokussierten Rechteck-Zellen mit einer eine Strahlendurch-  
trittsöffnung definierenden Trägerstruktur mit an den zu den  
Strahlendurchtrittsöffnungen weisenden Innenseiten der  
Trägerstruktur aufgebracht Absorptionsbeschichtung ist.

25

## Zusammenfassung

Verfahren zur Kompensation von Bildstörungen bei Strahlungsbildaufnahmen sowie Strahlungsbildaufnahmevorrichtung

5

Verfahren zur Kompensation von Bildstörungen bei einer Strahlungsbildaufnahme, hervorgerufen durch eine Defokussierung eines im Strahlengang zwischen einer Strahlenquelle und einem digitalen Strahlungsbildempfänger angeordneten, bezüglich

10

eines bestimmten Abstands zum Fokus der Strahlenquelle fokussierten Streustrahlenrasters, welche Bildstörungen durch eine defokussierungsbedingte Schwächung der auf den Strahlungsbildempfänger einfallenden Primärstrahlung verursacht sind,

15

wobei der Festkörperbilddetektor matrixförmig angeordnete strahlungssensitive Pixel und eine Einrichtung zur pixelweisen Verstärkung der strahlungsabhängigen Signale aufweist, bei welchem Verfahren zumindest ein Teil der pixelweise gelieferten Signale über die Verstärkungseinrichtung in Abhängigkeit des Ist-Abstands des Streustrahlenrasters zum

20

Fokus verstärkt werden.

FIG 1

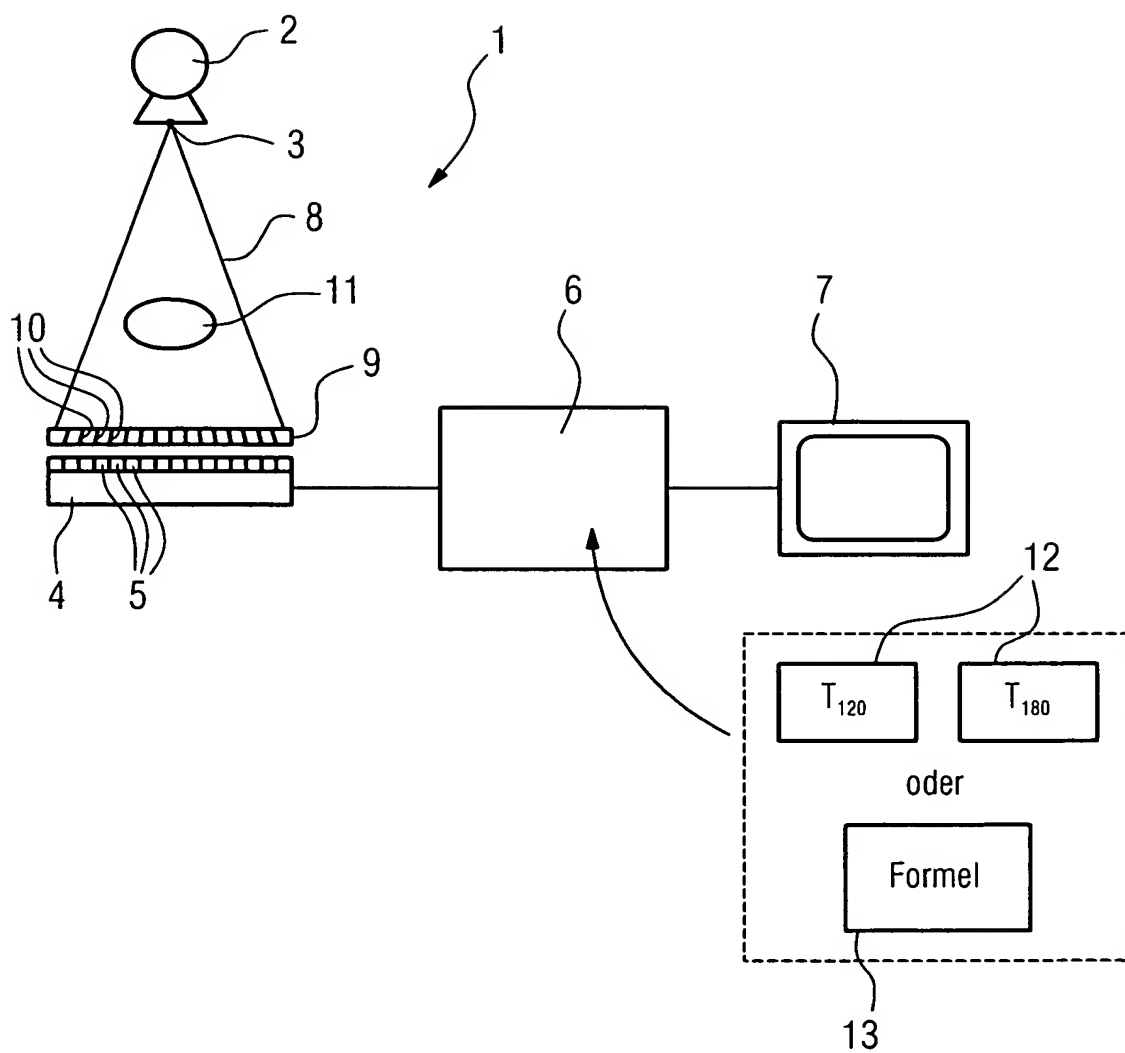




FIG 2

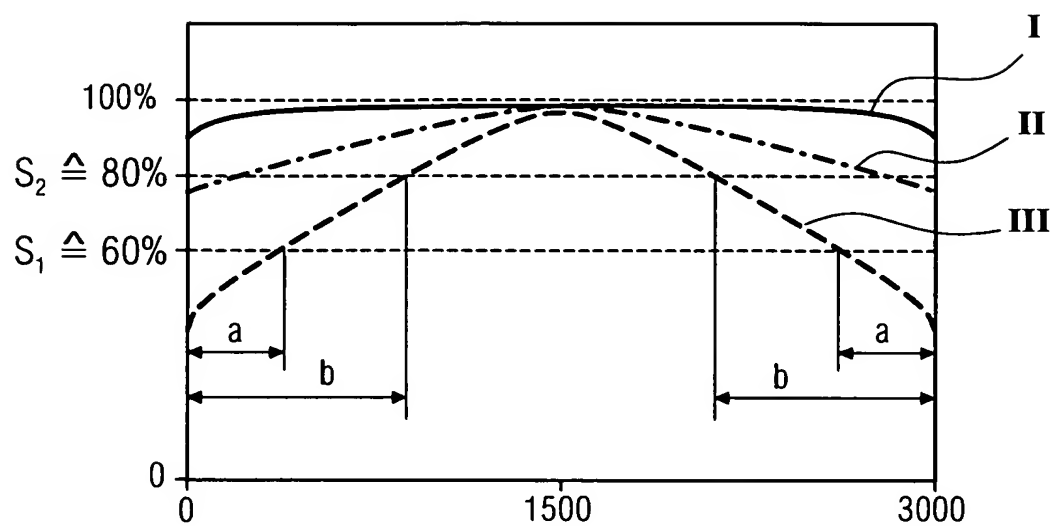


FIG 3

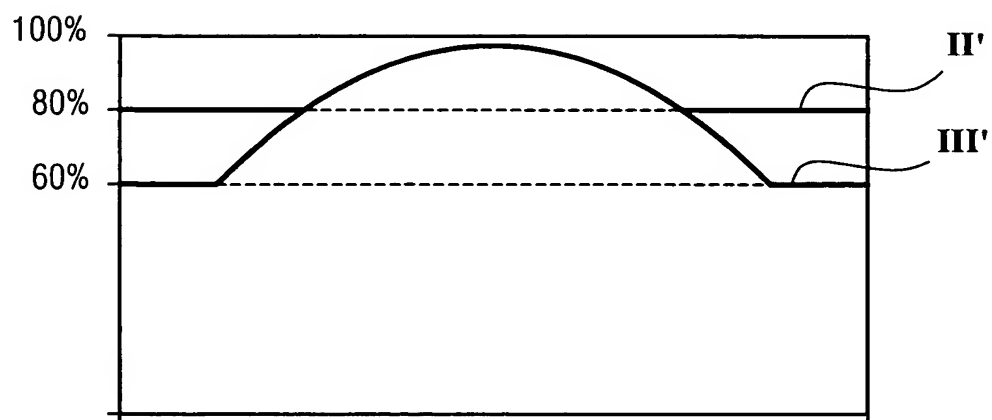


FIG 4

